

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2000-502461

(P2000-502461A)

(43) 公表日 平成12年2月29日 (2000.2.29)

(51) Int.Cl.⁷

G 0 1 J 4/04

識別記号

F I

G 0 1 J 4/04

テマコード (参考)

Z

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 38 頁)

(21) 出願番号 特願平10-520100
(86) (22) 出願日 平成9年10月16日 (1997. 10. 16)
(85) 翻訳文提出日 平成10年6月25日 (1998. 6. 25)
(86) 国際出願番号 P C T / F R 9 7 / 0 1 8 4 9
(87) 国際公開番号 W O 9 8 / 1 9 1 4 2
(87) 国際公開日 平成10年5月7日 (1998. 5. 7)
(31) 優先権主張番号 9 6 / 1 3 0 8 1
(32) 優先日 平成8年10月25日 (1996. 10. 25)
(33) 優先権主張国 フランス (F R)
(81) 指定国 E P (A T, B E, C H, D E, D K, E S, F I, F R, G B, G R, I E, I T, L U, M C, N L, P T, S E), J P, K R, U S

(71) 出願人 サーントル ナスィヨナル ドゥ ラ ル
シェルシェ スィ ヤンティフィック
フランス共和国 F-75794 パリ セデ
ックス 16 リュ ミシエル アーンジュ
3
(72) 発明者 ドレヴィヨン ベルナール
フランス共和国 F-92140 クラマール
スイテ ドゥ ラ ペビニエール (番地
なし)
(72) 発明者 コンバン エリック
フランス共和国 F-37420 ユイスム
レテュイ (番地なし)
(74) 代理人 弁理士 武田 正彦 (外2名)

(54) 【発明の名称】 偏光変調用の光学構成部材、この光学構成部材を備えるミューラー偏光計および偏光解析装置、この偏光解析装置の校正方法ならびに偏光解析方法

(57) 【要約】

この発明は偏光変調用の光学構成部材、この光学構成部材から成る偏光計およびミューラー偏光解析計に関する。光学構成部材で線状に偏光された入射光ビーム (10) を変調して、その変調ビーム (11) を返送する。この構成部材には入射ビームを引き続き二度変調する、連結位相モジュレータ (6B) が含まれ、両変調は同一周波数 $\omega / 2\pi$ を持ち、両変調間で光の偏光度を修正する装置 (61) に連結されている。偏光解析計にはサンプルで返送され、変調ビームを受け入れる測定ビーム検出装置と、処理装置とが含まれる。検出装置には、ビームの偏光状態を表す n 個の測定量を提供する偏光計を備え、処理装置によりフーリエ変換を利用して、上記測定量のそれぞれに対して m 個の値を得、 $n \times m \geq 16$ および $m \geq 4$ の条件で同時に、サンプルのミューラーマトリックスの16個の係数を処理している。

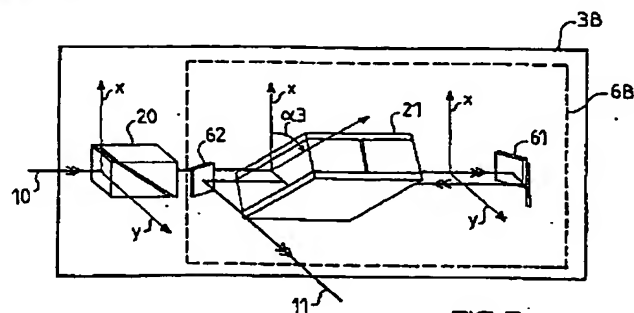


FIG. 7

【特許請求の範囲】

1. 線状に偏光した入射ビーム(10)を変調し、この変調入射ビーム(11)を返送する偏光モジュレータ(6A, 6B)から成り、偏光モジュレータ(6A, 6B)が引き続き二回、入射ビーム(10)を変調する連結位相モジュレータであり、二変調が厳密に同一の周波数 $\omega/2\pi$ のもとで連結され、その変調が、二変調間で光の偏光状態を変更する(modifies)システム(23, 61, 71)によって連結されていることを特徴とする偏光変調用の光学構成部材。

2. 連結モジュレータ(6B)に二つの継続変調を生ずる位相モジュレータ(21)を設け、連結装置(61, 71)を部分偏光子および位相シフタータイプとし、位相モジュレータ(21)で第一変調を行わせ、入射ビーム(10)を連結装置(61, 71)に伝送し、その連結装置(61, 71)で入射ビーム(10)を位相モジュレータ(21)に返送し、位相モジュレータ(21)で第二の変調を生ぜしめることを特徴とする請求項1に記載の光学構成部材。

3. 入射ビーム(10)を偏光の一方向(y)に偏光させ、位相モジュレータ(21)および連結装置(61)をそれぞれ偏光方向(y)から 45° と 90° 傾けることを特徴とする請求項2に記載の光学構成部材。

4. 連結モジュレータ(6A)に二組の位相モジュレータ(21および22)を設け、それぞれ同一の継続変調を行わせ、両モジュレータ(21および22)が単一配向を持ち、かつ連結装置(23)を部分偏光子および相シフタータイプとし、該連結装置(23)を二組の位相モジュレータ(21および22)間に挿入し、該位相第一モジュレータ(21)の入射ビーム(10)を第二モジュレータ(22)に送ることを特徴とする請求項1に記載の光学構成部材。

5. 入射ビーム(10)を偏光の一方向(y)に線状に偏光させ、一方で位相モジュレータ(21および22)および他方で連結装置(23)をそれぞれ偏光方向(y)から 45° および 90° 傾けることを特徴とする請求項4に記載の光学構成部材。

6. 連結装置(71)を反射用として機能させ、これに第一部分偏光エレメント(72)および第二位相シフトおよび検出エレメント(73)を設けること

を特徴とする、請求項1から5のいずれかに記載の光学構成部材。

7. 第一エレメント(72)をブルースター角度のもとに、多数の空気-材料面の積み重ねで作り上げ、第二エレメント(73)をプリズム構成とすることを特徴とする請求項6に記載の光学構成部材。

8. 請求項1から7のいずれかに記載の光学構成部材構成を特徴とする偏光計。

9. ミュラーマトリックス(M)の係数で表されるサンプル(1)の測定用であって、

- ・入射光ビーム(10)放出用光源(2)、
- ・該入射ビーム(10)の線状偏光用の偏光子(20)、
- ・該入射ビーム(10)変調用の偏光モジュレータ(6A, 6B)、変調入射ビーム(11)を受け、測定ビーム(12)を戻す該サンプル
- ・電気信号を発生させる測定ビーム(12)検出用装置(4)、および
- ・偏光モジュレータ(6A, 6B)を請求項1から5のいずれかに記載の光学構成部材中に取付け、検出装置(4)に測定ビームの偏光状態(12)を表す測定量($I_1 - I_n$)を提供する偏光計を設け、処理装置(5)がフーリエ変換によりn値を与え、測定量($I_1 - I_n$)のn個のそれぞれに対して $n \times m \geq 16$ および $m \geq 4$ の条件のもとに、ミュラーマトリックス(M)の16係数に同時にアクセスできる検出装置(4)で得られる電気信号受入れ用の処理装置(5)

を含むことを特徴とするミュラー偏光解析計。

10. $n \geq 4$ とし、偏光計に一切新規の時間的変調を加えないことを特徴とする、請求項9に記載の偏光解析計。

11. $n = 4$ および $m = 4$ とし、該測定量($I_1 - I_4$)に関連した測定ビーム(12)の四つの偏光状態を偏光計で分離することを特徴とする、請求項10に記載の偏光解析計。

12. 該光学構成部材が請求項1から5のいずれかで規定され、時間(t)に影響される各測定量($I_1 - I_4$)についてフーリエ変換で得られる四値が、

$$\cos \omega t, \sin \omega t, \cos 2\omega t, \sin 2\omega t$$

をベースとする、該測定量 ($I_1 - I_4$) の調波成分であることを特徴とする請求項 11 に記載の偏光解析計。

13. 時間 (t) に影響される調波計算座標 $H_\lambda(t)$ が調波ベクトル $H(t)$ にまとめて類別され、処理装置でそれぞれの n 個の測定量 ($I_h(t)$) に対し特殊フーリエ変換を使って m 値が得られ、この変換によれば周期 ($0, 2\pi/\omega$) は $2N$ の等分布独立点 (T_k) に分割され、測定量 ($I_h(t)$) は 0 から $2N-1$ へ変動する k に対してサンプリング時点 t_k で計算され、下式中 j が 1 から $**$ まで変動し、 h が 1 から n まで変動する場合、関数 I_h の j 番目の調波成分 B_{hj} を処理装置で判定し、

$$B_{hj} = \frac{1}{2N} \sum_{k=0}^{2N-1} I_h(t_k) g_j(T_k)$$

関数 $g_j(t)$ は復調関数とし、復調マトリックスは下式で表され

$$D_{\ell j} = \frac{1}{2N} \sum_{k=0}^{2N-1} H_\ell(t_k) g_j(T_k)$$

λ と j は 1 から m へと変動し、ランク別は 4 以上であることを特徴とする、請求項 9 から 12 のいずれかに記載の偏光解析計。

14. 適用の二相変調が同一相シフト ($\delta(t)$) を示す場合、

$$\delta(t_k) = \omega T_k, \text{ および}$$

$$g_j(T_k) = \exp(-i j \omega T_k),$$

$$\text{ただし } i^2 = -1$$

を選定することを特徴とする請求項 13 に記載の偏光解析計。

15.

$$t_k = T_k$$

であり D を単位マトリックスとする g_j を選ぶことを特徴とする、請求項 13 に記載の偏光解析計。

16. 検出装置(4)および処理装置(5)が分光測定に適合していることを特徴とする請求項9から15のいずれかに記載の偏光解析計。

17. 偏光子(20)および偏光モジュレータ(6A, 6B)が偏光状態発生器(3)を構成し、該偏光状態発生器(3)および該検出装置(4)がそれぞれ変調マトリックス(W)および検出マトリックス(A)を有することから、

・我々は公知のミューラーマトリックス(M)を有する校正単位セットを選び、その構成要素の一つを単位マトリックス(10)とし、

・校正単位のそれぞれについて、我々は該構成要素を偏光解析系中のサンプル(1)として採用し、我々は入射光ビーム(10)を放射させ、光源(2)と偏光子(20)を使ってこのビームを線形に偏光させ、我々は入射ビーム(10)を連結モジュレータ(6A, 6B)を使って変調し、我々はこの変調入射ビーム(11)を該構成要素(1)に送り、測定ビーム(12)を戻し、我々は検出装置(4)により該測定量($I_1 - I_n$)を取得し、処理装置(5)により該数値を求め、該数値を使って測定マトリックス(A_{MW})を構成し、この測定マトリックスを検出マトリックス(A)と該構成要素のミューラーマトリックス(M)と変調マトリックスの積として表し、

・我々は測定マトリックス(A_{MW})からリニア方程式系を建て、

・この系を解いて変調マトリックス(W)と検出マトリックス(A)を抽出することを特徴とする請求項9から16の何れか一項に記載の偏光解析計の校正方法。

18.

・透過0°でのリニア偏光子、

・透過45°でのリニア偏光子、

・異常値を示さぬ部分偏光子および位相シフター、

から成る構成単位組を選定することを特徴とする請求項17に記載の校正方法。

19.

・リニア偏光の入射光ビーム(10)を放出し、

・偏光モジュレータ(6A, 6B)を使って、入射ビーム(10)を変調し、

- ・変調入射ビーム(11)をサンプル(1)に送り、測定ビーム(12)を戻し、
 - ・測定ビーム(12)を検出し、検出装置(4)を用いて電気信号を発生させ、
 - ・電気信号を処理装置(5)に伝達し、
 - ・偏光モジュレータ(6Aおよび6B)を使って二つの継続位相変調を入射ビーム(10)に加え、両変調は厳密に $\omega/2\pi$ の同一周波数とし、装置(23, 61, 71)と連結し、これにより両変調間の偏光状態を変更修正し、
 - ・検出装置(4)を使って、それぞれ測定ビーム(12)の偏光状態を代表するn個の測定量($I_1 - I_n$)を作りだし、
 - ・フーリエ変換を利用し、処理装置(5)を使って得たn個の測定量のそれぞれに対するm値を得て、 $n \times m \geq 16$ および $m \geq 4$ のもとに、ミューラーマトリックスの16係数へのアクセスを可能とする、
- ミューラーマトリックス(M)係数で代表される、サンプル(1)の測定のための偏光解析測定方法。

【発明の詳細な説明】

偏光変調用の光学構成部材、この光学構成部材を備えるミュラー偏光計および偏光解析装置、この偏光解析装置の較正方法ならびに偏光解析方法

本発明の目的は、光学モジュレーション構成部材 (optical modulation component)、この光学構成部材を含むミュラー偏光計 (polarimeter) と偏光解析装置 (ellipsometer)、この偏光解析装置の較正方法および偏光解析方法についてである。

光学的、物理的、化学的または電気的大きさ等について、そのサンプルが示す大きさを測るには、従来から偏光解析装置が使われている。しかし標準的偏光解析装置の利用分野は、平坦な境界面を呈する偏光解消以外の等方性材料に限られている。通常の偏光解析装置は非等方性材料の測定には用いられるが、それはこの材料が非偏光性解消である時に限られる。一般企業、生物学者および化学者の現在の一般要請は、粗雑または小斑点を示す表面材料等の偏光材料に絞られることが多い。

ミュラー偏光解析装置 (Mueller ellipsometer) (またはミュラーマトリックス偏光解析装置—MME) は、何の媒体についても測定が可能である。事実光線の偏光状態は、従来ストークスの光ベクトル (S) と言われる四次元ベクトルで表すことができる。このものの説明は“偏光解析法と偏光”と題する、北オランダ、アザム (Azzam) とバシャラ (Bashara) の研究、55—60ページに見出される。ストークスベクトルは、それぞれ四つの異なる偏光状態の平均強度を表す、I, Q, U, およびV座標から構成される。何の媒体であっても、光線の異なる偏光方式の結合強さについて記載した、 4×4 寸法の実マトリックスで表すことができ、この結合は光と媒体間の相互作用によるものとされている。ミュラーMとして知られるこのマトリックスには通常、相互に独立した16の係数が含まれている。ミュラーの偏光解析装置は、研究対象媒体のミュラーマトリックス全てを測定できる。従ってこの装置は特に粗面上の析出物または粒子の測定に採用され、その他の偏光解析測定法が適当でない場合に適用される。

ミュラーの偏光解析方法またはミュラーの偏光解析装置に採用される配列装置

には、一般に光源、偏光状態発生器（またはPSG）および偏光計とも呼ばれる偏光状態検出器（PSD）が挙げられる。これらの詳細説明は“偏光解析方法中の最近の計装の発展”と題する、表面科学、96巻、108-140ページ、1980年に記載のピー．エス．ハウゲ（P. S. Hauge）の記事中でなされている。操作中、光線ビームは光源を使って放射され、このビームはPSGにより偏光状態が与えられ、サンプルに送られて測定され、生成ビームはPSDを用いて検知される。PSGとPSD内に固定した偏光子と $1/4$ 波長のブレードの使用についても良く知られる所であり、サンプルのミューラーマトリックスの測定に当たり、これには16の異なる要因構成が与えられている。しかしその取扱技術は利用困難であって、それほど効果的とは思われない。

アー．エム．アザム（R. M. Azzam）の光学レター、2巻、6号、148-150ページ、1978年発表の“単一検出信号のフーリエ解析によるミューラーマトリックスの望遠写真による偏光測定”中で、ミューラーの偏光解析装置が提唱されており、この内PSGおよびPSDはそれぞれ ω と 5ω で回転する、二つの $1/4$ 波長のブレードとして構成されている。この場合、ミューラーマトリックスの16個のミューラーマトリックス用の係数が、検出信号の ω 周波数の最初の16調波から抽出されている。しかしこの配列は極低周波数に限られることと、周囲環境雑音除去用に“チョッパー”を使用する必要のあることから不便とされていた。

アー．エム．アザム（R. M. Azzam）の光学レター、11巻、5号、270-272ページ、1986年発表の“4組の望遠写真による偏光検出器を使ったミューラーマトリックスの測定”記事で、ミューラーの偏光解析装置は多重チャンネルPSDとPSG中の回転ディレー装置付きとして提唱された。この装置も一般に獲得に数秒を必要とする低変調周波数に利用が限定されていた。

アー．アンダスン（R. Anderson）の応用光学、31巻、11ページ、1992年発表の“ミューラーマトリックスの測定”記事中では、PSGとPSDとに高周波偏光モジュレータ採用の単一チャンネル式偏光解析装置が提唱されている。しかし完全な測定を行うには幾つかの付帯装置を組み合わさなければならなかった。

ランドル スィー、トンプソン (Randall C. Thompson) 他の応用光学、19巻、8号、1323-1332ページ、1980年発表による“ミューラーマトリックスを介する偏光による相互作用の測定”記事中では、異なる周波数で4組の光電型位相モジュレータと16組の同期検出器を使った、高周波偏光解析装置が提唱された。しかしこの構成では高価であることと、信号の連続成分が変調されていないことから、ノイズに影響されることに加えて、操作が複雑との欠点が見られた。

ステンフロ (Stenflo) 他による54号、XP000645515、1992年のLEST技術リポート中、およびポベル (Povel) による34巻、7号、XP000517055、1870-1878ページの光学エンジニアリング誌の別記事、4組のストークス要因およびその偏光測定への利用について、同時測定装置が発表されている。この測定装置には、位相連結によるその配向が 45° の角シフトを伴う、同一周波数で操作される2組の圧-弾性モジュレータ、超色消し $\lambda/4$ プレート、リニア-偏光子構成であり、光学トラック上に順次設けたモジュレータ、プレート、および偏光プリズムが配設されている。

この装置もモジュレータの同期化と、連結の上でのコントロール操作の点でトラブル発生の種となっていた。

本発明は高周波数のもとで使用でき、操作し易く、同時にかつ正確にミューラーマトリックスの16係数測定の可能な、ミューラー偏光解析装置に関する。

発明はまた、その都度または累積して周囲のノイズに影響されずに、その分光性能を発揮し、100MHzの高周波数での変調を可能とし、支持体上層成長の場合にも実時間の測定に使用できる偏光解析装置に関する。

更に本発明の目的の一つは、発明の範囲でカバーされる正確で同時に迅速な操作し易い、ミューラー偏光解析装置の較正方法にある。

本発明の別目的は、操作し易くかつミューラーマトリックスの16組係数の、同時かつ精密な測定を提供し、更に高変調周波数のもとで使用できる、ミューラー偏光解析測定方法にある。

発明はまた、ミューラー偏光解析装置をPSG内で、また同じく場合によりPSD内でも使用できる、光学変調用構成部材を含む。さらに一般的には、発明は高

周波変調に使用でき、操作の簡単な光学変調用の構成部材に関する。

発明はまたビームの偏光測定を必要とする如何なる装置にも使用でき、また特にミューラー偏光計内で高周波数のもとでも使用できかつ使い易い、PSDまたは偏光計をも包含している。

このため本発明には、線形に偏光された光線の入射波を変調し、変調ビームを返送する偏光モジュレータを含む偏光変調用の光学構成部材を含む。偏光モジュレータは入射波を引き続き二回変調する連結位相モジュレータであり、二つの変調は厳密に言って $\omega/2\pi$ の同一周波数を保持し連結される。

発明によれば、変調は二つの変調間の光線の偏光状態を修正する装置を使って連結される。

二つの変調はその間に相対位相差があり、時間的には固定され従って相互間には一切移動が行われなないとの意味で、“厳密には”同一周波数状態にある。この周波数が厳密に一致する性状は、好都合にも外部の従属配列装置によるか、または同一モジュレータの併用により得られる。

“連結変調”により（同一周波数のもとでかつ時間的に固定された相対位相差を示す）単一位相変調に縮小できない同一変調が意味される。この結果二つの変調はストークスベクトルの同一成分には適用されない。さらに正確には、それぞれの相変調はその中で入射ビームの規定される、四次元偏光ベクトル空間の内二次元ベクトル部分空間に応じて加えられるため、二変調に伴う二部分空間は混同されない。

変調は連結装置により連結されるもので、変調の方向間の単一角度差により連結されるものでない。

連結装置が、部分偏光子および相シフター（PPS）タイプであるべきことは好ましいことである。

相モジュレータは、加えられる二連結相変調に倣って“連結”されると言われる。

数学用語からは、光学構成部材が偏光変調に採用されて、変調ビームのストークスベクトル（S）がランク4マトリックスにより、 ω パルスの調波ベースの変化に応じて線形に表せるとしている。

本発明による光学構成部材の好ましい実施態様によれば、連結モジュレータには二つの継続変調を産む相モジュレータと、部分偏光子および相シフタータイプを含むことになる。相モジュレータで第一変調が行われ、入射波は同一連結装置に送られる。連結装置は入射波を相モジュレータに伝え、相モジュレータは第二の変調を生ずる。

この実施形態は平均強度（I）を含めて、ストークスペクトルの四成分を高周波のもとで変調させる点で、特に好ましいことである。その結果、PSGで採用される場合、低レベルの検出が可能で、チョッパーは使用する必要がない。

なお、二変調を行うには単一相モジュレータ（single phase modulator）のみを必要とする。従ってこれにより絶対相コントロール（absolute phase control）を含む同期化のトラブルが避けられる。特に、拡大波長範囲（ $0.2\mu\text{m}$ から $19\mu\text{m}$ に至る）、（ 1cm 以上の）大きな光学窓および温度変動に対する低影響を保証する光弾性モジュレータの使用が可能となる。

この方法の実施に当たって好ましいことは、相モジュレータと連結装置とがそれぞれ偏光方向から 45° と 90° 傾いていることである。その理由は入射ビーム光が一つの偏光方向に応じて線形に偏光されるためである。

本発明の光学構成部材の好ましい別方式によれば、同じ二つの継続変調の得られる二つの相モジュレータが含まれることで、この場合二位相モジュレータは同一配向を示し、かつ二つの相モジュレータ間に挿入した、部分偏光子と相シフター系の連結装置を備えている。この連結装置は第一の相モジュレータからの入射ビームを第二の相モジュレータに送る。

この二つの相モジュレータはできれば光-電タイプのものであると良い。

この別の実施方法を使って、第一実施方式に準じ高周波数のもとで、ストークスペクトルの四成分を変調することができる。

連結装置が入射波を“伝送”するとの表現は、この波を透過するかまたは反射することを意味している。

この別の実施方式で好ましい点は、一方で相モジュレータがまた他方で連結装置が、偏光方向にそれぞれ 45° と 90° の角度をなすことであり、その理由としては入射波光線が偏光の一方向に応じて線形に偏光されることによる。

連結装置が反射による操作がなされ、第一部分偏光エレメントと第二相シフトと反射エレメントとを備えていれば、好ましいことである。この連結装置の好ましい形態によれば、第一エレメントがブルースター角をもって、空気-ガラス界面により構成されていること、また第二エレメントがプリズム構成を示すことである。

発明にはまた、発明に基づく光学構成部材から成る偏光計が含まれる。

このPSDまたは偏光計は、例えばミュラー偏光計に用いても良く、この場合にはPSGには偏光モジュレータが含まれる。

発明はまた、ミュラーマトリックスの係数で代表されるサンプル測定用の、ミュラー偏光計に関する。この偏光解析装置の構成要素は

- ・入射光ビーム放射用の光源、
- ・入射ビームを線状に偏光する偏光プリズム、
- ・入射ビームを変調する偏光モジュレータおよび測定ビームを返送する変調入射ビーム、
- ・電気信号を生成する測定ビーム検出装置、および
- ・検出装置で得られる電気信号受入れ用の処理装置、である。

発明によれば、発明に基づく光学構成部材内に偏光モジュレータを収納する。さらに検出装置には偏光計を収納し、このものにより測定装置の偏光状態を代表する n 個の測定量が得られ、処理装置はフーリエ変換を用いて測定した n 量のそれぞれに対して m 値量を得、 $n \times m \geq 16$ および $m \geq 4$ とし、これによりミュラーマトリックスの16係数を求めるようにする。

従って本発明によるミュラー偏光計は、単周波数の相変調に基準を置くものである。この解析計は何の回転エレメントでも載せることができ、高周波測定も可能で取扱いも容易であり、正確な結果が得られる。この他、解析計は既設の従来型相-変調偏光解析装置とも適合が容易で、通常採用するデジタル処理技術の利点も取り入れている。

光源および偏光子は線形偏光源に見合うものとみなして良いであろう。

検出装置には一つ以上の光検出器を設けることができる。第一のケース（単チャンネル技術）では、 $n = 1$ および $m \geq 16$ として偏光計には偏光変調用の装置

を設ける。特にこの変調装置は、発明に基づく光学構成部材製とすることができる。検出光強度はここで時間に影響される。第二のケースでは多重チャンネル技術の場合であり、この方式はPSGでは単一変調偏光のみを用いる、係数の同時測定を行う場合特に有利である。この時点で偏光計は、測定ビームを幾つかの第二のビームに分割することができ、その各々は明確な偏光状態のもとに光検出器の一つで検出されるか、または異なる光検出器に対しては測定ビームを引き続き反射させることができる。PSDまたは偏光計はどのような新規の時間的変調を導入すべきでないことが望まれるが、それは量の測定はストークスベクトルの四成分に線形的に関連しているためである。

測定量は時間に影響され、通常光検出器で測った強度値である。

ω パルスの調波を選定し、測定量の対応各調波の順位を求めるのが好ましい。得られた数値はこの場合固定調波成分に応じて測定した量の調波座標に当たる。ミュラーマトリックスの16係数を得るための、測定量当たりの最低調波座標数は4であるが、理由としては調波座標数の比較的高いものには、上記係数の測定用としての余裕度が含まれているためである。

サンプルに対する入射ビームの、ミュラーマトリックス(M)とストークスベクトル(S)との積は、サンプルの放つ測定ビームのストークスベクトル(S2)に等しい。

ミュラー偏光計のPSGは偏光モジュレータから成り、一方PSDは検出装置から成っている。PSGとPSDとはそれぞれ変調マトリックス(W)と検出マトリックス(A)に相当し、この場合(A)の方は時間と共に変わったり変わらなかったりする。得た値の計算用として固定された ω パルスの調波は、調波ベクトル(H)にまとめて類別されるため、変調マトリックス(W)と調波ベクトル(H)との積は、PSGから出る入射ビームのストークスベクトル(S1)を与える。多重チャンネルの場合、測定量は量ベクトル(P)にまとめて類別されるため、検出マトリックス(A)とサンプルが返送してくる測定ビームのストークスベクトルとの積は量ベクトル(P)に等しくなる。PとHの時間に影響される関係式は、

$$P(t) = (AWH) H(t)$$

として表される。

相シフト $\delta(t) = \omega$ を与える光電モジュレータを用いることにより、調波ベクトル $H(t)$ は下式で示される。

$$H(t) = \begin{pmatrix} \cos \omega t \\ \sin \omega t \\ \cos(2\omega t) \\ \sin(2\omega t) \end{pmatrix}$$

相シフト $\delta(t) = A_0 \sin(\omega t)$ を与える光電モジュレータを用いることにより、下式が得られる。

$$H(t) = \begin{pmatrix} \cos(A_0 \sin \omega t) \\ \sin(A_0 \sin \omega t) \\ \cos(2A_0 \sin \omega t) \\ \sin(2A_0 \sin \omega t) \end{pmatrix}$$

ただし A_0 (変調振幅) は光電モジュレータで規定する定数である。

好ましくは $A_0 = 2.791$ とする。この値に対しては調波ベクトル ($H(t)$) の成分は最も強く影響を受ける。

それぞれの測定量に対する成分数が m に等しい場合、 W , M , および A マトリックスの大きさは、それぞれ $4 \times m$, 4×4 , および $n \times 4$ である。

($n = 1$) の単チャンネルの場合、 PSG と PSD はいずれも前記の実施方法のいずれかに該当し、 PSD では PSG の周波数より 5 倍高いか低い周波数のもとで偏光変調がなされる。

偏光解析装置はミュラー偏光計の一つであるため、変調マトリックス (W) は必然的にランク 4 ($W^T W$ 可逆性) となり、従って PSG は強力とされる。時間に変動がない場合、検出マトリックス (A) はランク 4 でなければならない。好ましくは $n \geq 4$ であり、偏光計には新規の時間的変調の導入余地はない。

ここで PSD の変調を通り越し、この場合検出マトリックス (A) は時間について変わらず、ランクは 4 を占める。このように、この偏光解析装置の使用は極めて簡単で、(可動部分がないため) 高周波性能は既存の多重チャンネル技術の

利点を全て取り入れることができ、特に効果的で簡単な操作が得られる。

この好ましい実施の優れた形態にあつては、 $n=4$ および $m=4$ とされ、偏光計では四つの測定量に伴う測定ビームの四つの偏光状態が分離される。

この好ましい形態は、極めてコンパクトな構成と出力に変調を導入しないこととに基づいている。

PSGでは発明に基づく光学構成部材を偏光解析装置が採用しているため、時間の影響する各測定量に対してフーリエ変換により求まる4つの値は、好都合にもその基本測定量の調波成分：

$$\cos \omega t, \sin \omega t, \cos 2 \omega t, \sin 2 \omega t$$

である。

従つて我々はオーダ1と2の調波を採用する。この場合平均強さは変調されているため、オーダ0の調波は採用する必要はない。

好ましい方式では、 m 組の時間 t に影響される計算による調波成分 $H_{\lambda}(t)$ は、調波ベクトル $H(t)$ にまとめて類別されるため、処理装置により特殊フーリエ変換を用いて、測定された n 量 $I_h(t)$ のそれぞれについて m 値が得られるが、これによればインターバル $[0, 2\pi/\omega]$ は $2N$ 組の独立した等配分点 (T_k) に分割され、測定量の $I_h(t)$ は0から $2N-1$ の間に変動する k に対して、サンプリング時点 t_k で計算され、処理装置で j については1から m の間、 h については1から n の間、関数 I_h の j 番目調波成分 B_{hj} が判定され、その関係は下式で示される。

$$B_{hj} = \frac{1}{2N} \sum_{k=0}^{2N-1} I_h(t_k) g_j(T_k)$$

選定の復調関数である関数 $g_j(t)$ は復調マトリックス (D) を使って下式

で表される。

$$D_{\ell j} = \frac{1}{2N} \sum_{k=0}^{2N-1} H_{\ell}(t_k) g_j(T_k)$$

λ と j については1から m の範囲、ランク付けは ≥ 4 である。

このように B と D の逆数との積を用いて、直接にAMWマトリックスを求め、次いでミューラーマトリックス (M) を抽出する。特殊迅速フーリエ変換つまりSFFTを使って光弾性モジュレータのない場合の特異トラブルを避け、一般に正確な結果を得る改善に結び付けることができる。

PSGにより付加される二相変調が同一相シフト $\delta(t)$ を示すことから、SFFT1と注記したSFFTの第一形態では、次の関係式を選定する。

$$\delta(t_k) = \omega T_k$$

$$g_j(T_k) = \exp(-i j \omega T_k)$$

$$\text{ただし } i^2 = -1$$

その結果、このSFFT1においてはサンプル点 t_k は等分布ではなく、予め正確に定めた時点で測定を開始する必要がある。従って従来のFFTについては、SFFT1には処理装置のハードウェア要素を付帯させる必要があるが、同一ソフトウェアは残置しても良い。

SFFT1によれば、相モジュレータの使用には関係なく測定期間に亘って $\omega t \pmod{2\pi}$ に等しい相シフト $\delta(t)$ を得ることができる。これによれば極めて正確な結果が得られると共に、異常の発現が避けられる。

SFFT2で注記した第二SFFT形態にあつては、

$$T_k = T_k, \text{ および}$$

D が単位行列であるような g_j を選ぶ。

復調関数 $g_j(t)$ は計算調波座標 $h_\lambda(t)$ の二元ベースを構成する。従って g_i 関数の性状は偏光モジュレータが光電モジュレータを備えているか、または光弾性モジュレータを備えるか否かにより変わってくる。

SFFT2によれば、サンプリング個所 t_k が等分布されている事実から、従来のFFTについては変えないままとすることができる。これに対して処理装置のソフトウェアは変える必要がある。

SFFT2で得られる復調により、雑音比および漏話に対し最低信号が与えられる。

検出装置および処理装置は、分光器による測定に有利な状態で用いられる。

発明はまた、本発明に基づく偏光解析装置の較正方法を包含する。偏光子および偏光モジュレータは偏光状態発生器を組立てているが、検出装置がそれぞれ変調マトリックスおよび検出マトリックスを備えることから、

- ・我々は公知のミューラーマトリックスを備える較正マトリックスセットを選び、この構成要素の一つを単位マトリックスとしている。

- ・それぞれの較正要素に対し、我々はこの要素を偏光解析装置内のサンプルとして取上げ、入射光線ビームを放出させ、これを光源と偏光計を使って線状に偏光させ、入射ビームは連結モジュレータを使って変調し、変調した入射ビームは構成要素に送りさらに測定ビームを戻し、検出装置を使って測定量を割り出し処理装置で値を求め、この値を用いて検出マトリックス、構成要素のミューラーマトリックスおよび変調マトリックスの積で示される測定マトリックスを組み立てる。

- ・この測定マトリックスから線形式のシステムを構成し、および

- ・このシステムの解法を行い変調および検出マトリックスの解を求める。

単位マトリックスに対応する単位を使って測定を行った結果、PSGとPSD間にはサンプルを置くべきでないことが分かる。

変調マトリックスWと検出マトリックスAとの測定は、この自動較正操作を使って自動的に行われる。正確な結果は迅速かつ簡単に得られ、特に装置を解体せずに行える。

発明に基づく較正方法を有利に行うために、我々は以下の構成単位を選定している。

- ・ 0° で透過する線形偏光計、
- ・ 45° で透過する線形偏光計、

- ・ 異常値を示さぬ部分偏光子および相シフター

この較正方法は、PSDにより測定ビームを四つの偏光状態 ($n=4$) に分割する場合、および関連する検出強度のそれぞれについて、第一の高調波に応ずる四値を求める場合、特に適合している。

発明はまた、ミューマトリックスの係数で代表されるサンプルの測定のための、ミュー偏光計の測定方法に関する。

- ・我々は線状に偏光された入射線ビームを放射する、
- ・我々は入射ビームを偏光モジュレータを使って変調する、
- ・我々は変調入射ビームをサンプルに向け送り込み、測定ビームを戻す、
- ・我々は測定ビームを検知し、検出装置を使って電気信号を発生させる、
- ・我々は電気信号を処理装置に伝送する、

発明に従って、

・我々は二組の継続相変調を偏光モジュレータ装置により、入射ビームに加え二組の変調を厳密に $\omega/2\pi$ の同一周波数に保持し、二組の変調間で光線の偏光状態を修正する装置を使って連結する、

・我々は検出装置を使って測定ビームの偏光状態を代表する n 個の測定量を得る、

・フーリエ変換を用いて、我々は処理装置により n 測定量のそれぞれに対し、 m 値を求め $n \times m \geq 16$ および $m \geq 4$ の条件で、ミューマトリックスの16係数にアクセスできるようにする。

この測定プロセスを用いて、正確かつ簡単に、高周波数のもとで全ミューマトリックスを測定する。

復調操作は標準迅速フーリエ変換 (FFT) またはSFFTを使って達することができる。このSFFTでは光電モジュレータを用いることにより精度は改善され、光弾性モジュレータを使って m 値を計算することができる。

本発明は、光学構成部材、偏光計、発明に基づくミュー偏光計、および発明による較正方法および偏光解析測定方法の実施例による、ガイドとしてのみの、いずれにせよ全体の網羅説明は考えずに添付の図面を参照した、以下の説明により示されるはずである。

- ・図1は本発明によるミュー偏光計を示す原理図である。
- ・図2は本発明によるミュー偏光計の第一実施方法におけるPSGを表す。
- ・図3は図2のPSGに対応する配置図を示す。

- ・図4はミューラー偏光計の第一実施方法のPSDを表す。
- ・図5は図2から4までの内の第一実施方法によるミューラー偏光計の全てを、コントロール装置と処理装置に重点を置き示す。
- ・図6は図5の配置で用いた位相シフトと捕捉サンプリングとの時間的経過状態を示す。
- ・図7は発明によるミューラー偏光計の第二実施方法におけるPSGを示す。
- ・図8は図7の偏光解析装置の第二実施方法で用いた、位相シフトと捕捉サンプリングとの時間的経過状態を示す。
- ・図9は図7で示す以外のPPSの実施形態を示す。

図1に示す発明によるミューラー偏光計は、入射ビーム(10)を放出する光源(2)および入射ビーム(10)の偏光状態を制御状態に変換する、偏光状態発生器つまりPSG(3)から成る。PSG(3)は線状に入射ビーム(10)を偏光しこれに偏光変調を加える。この解析計は変調入射ビーム(11)を測定すべきサンプル(1)に伝送する。偏光解析装置にはまたサンプル(1)により返送される測定ビーム(12)を検知する偏光状態検出器つまりPSD(4)を収納し、処理装置(5)でPSD(4)により得られる電気信号を受け入れる。サンプル(1)はミューラーマトリックス(M)を持つため、処理装置(5)は自動的に測定中のこのマトリックス(M)を完全に測定する。

図2で示す発明に基づく、ミューラー偏光計の第一実施方法でのPSG(3A)には、リニア偏光子(20)および二組の位相モジュレータ(21および22)から合成される連結モジュレータ(6A)および部分偏光計と相シフター型の連結装置(23)を収納する。二組の相モジュレータ(21および22)は同一配向を示し、その間に挿入される連結装置(23)は第一相モジュレータ(21)の入射ビーム(10)を第二相モジュレータ(22)に伝送する。

好ましくは、各種エレメントの配向状態は以下の通りである。入射ビーム(10)は伝播方向と向きおよびこの伝播方向とサンプル1で決まる入射面を備える

ため、我々は伝播方向に直角で入射面内にある第一軸(x)、入射面に直角の第二軸(y)、伝播方向に平行で同一向きを示す第三軸、を含めた直接役立つ引用

基準を作成している。偏光子（20）はこの場合 y 軸上の完全方向性偏光子である。二組の相モジュレータ（21および22）は同タイプのもので、y 軸に α_1 と α_2 角度をそれぞれ示す方向に準じて、x-y 面中に方向を定めている。角度 α_1 と α_2 とは同一であるのが理想的で、好ましくは $\pi/4$ に等しいものとする。連結装置（23）は x 軸上に向きを定めている。

操作の際には、入射ビーム（10）は偏光子（20）により線状に偏光され、相モジュレータ（21および22）および連結装置（23）のもとに、連結二重変調を受ける。その連結装置（23）は二つの機能を果たす。平均強度（I）の変調を行う部分偏光（不完全偏光子）とストークスベクトル（S）成分 U および V とを結合させる相シフトとである。

図3に示す PSG（3A）の特殊操作によると、偏光子（20）は“グラントムスン（Glan Thomson）偏光子”の名で販売される偏光計の一つであり、相モジュレータ（21および22）はポケットセル型の光電モジュレータである。光電モジュレータの使用により、絶対相コントロール操作が可能となり、この操作を使って相モジュレータ（21 & 22）を同期化できる。二重モジュレータ（6A）にはペルチエセルー熱制御タイプのポケットセルー名で販売されるセルを収納する。連結装置（23）は、これにビームシフトの発生を避ける配向の極薄の金属層で被服した二組の透明ブレード（24および25）を設けると最適装置となる。この装置は（伝播方向と第一ブレード（24）の方向間角度） α_0 に接続した入射角度、好ましくは 60° を持つ入射ビーム（10）を受ける。

連結装置（23）は透過の際、例えばクロム鏡形状の反射用連結装置で置き換えても良い。

PSG 3Aにはまた、相モジュレータ（21および22）の後の変調入射ビーム（11）の軌道上に据えた、ビームセパレータ（27）を設ける。このビームセパレータ（27）でコントロールビーム（15）をカットさせ、好ましくない変動をなくすため変調のコントロールに使う。セパレータ（27）は、コントロールビーム（15）のビーム強度を4%カットさせるのに好適である。これは伝

播方向に 45° 傾けたガラスブレードとしても良い。

光源（２）は数波長のレーザビーム（１３および１４）を放出できれば好都合である。ここで偏光解析装置には可動ミラー（２６）を設けて希望の波長を選択する。

図４に示すＰＳＤ（４）は、ビームセパレータ（３０）で測定ビーム（１２）を、少なくとも四つの第二ビーム（１６－１９）に分割すると好都合である。ＰＳＤ（４）にはまたそれぞれの第二ビーム（１６－１９）に、独立偏光状態を呈する偏光解析器（３６－３９）と光検出器（３１－３４）とを設け、それぞれ第二ビーム（１６－１９）の強度１１と１４とを検出する。その一例として、第二ビーム（１６－１９）の数は四つであるため、付帯の偏光解析器（３６－３９）はそれぞれゼロ、 90° での線形偏光計、 45° での線形偏光計および $1/4$ 波長ブレードと 90° での偏光計の組合せとする。

信号用のコントロールと処理装置について、図５を参照して詳細に説明してみよう。

ＰＳＧ（３Ａ）には増幅器（４２）により二つのモジュレータ（２１および２２）に連結した信号発生器（４１）を設ける。この信号発生器（４１）は増幅器（４２）を介してモジュレータ（２１および２２）に電圧を供給する。この電圧で時間 t に応じて電圧に比例する相シフト δ を、ビーム（１０）上の偏光内に起こさせる。できれば、この相シフト δ は $2\pi/\omega$ の周期と各周期内でスロープ ω を示すランプ構成とする。この状態で 2π 周期のもとになされる周期的関数 $\delta(t)$ は ωt と同じ周期的関数である。

処理装置（５）にはＰＳＤ（４）からの電気信号を受けるデータ信号処理器つまりＤＳＰ（４０）を設ける。ＰＳＤ（４）は多重チャンネル（４７）または別種公知の手段によりＤＳＰ（４０）に連結できる。ＤＳＰ（４０）では測定した第二ビーム（１６－１９）の希望調波の強度座標を計算する。計算した座標は好ましくはオーダー１および２の、

$$\cos \omega t, \sin \omega t, \cos 2\omega t, \sin 2\omega t$$

の四つとする。

入射ビーム（１０）の平均強度はＰＳＧ（３Ａ）で変調されているため、連続

成分を保有する必要はない。

変形実施例では、DSP (40) が先行する2以上のオーダの調波をまとめて類別した、四つ以上の調波構成の調波座標を計算する。

DSP (40) にはアナログーデジタル転換器 (ADC) を取付け、これにはサンプリング点でPSD (4) からの電気信号値と共に、FIFOタイプのメモリを供給し、DSP (40) による処理操作に先立ち数周期に亘ってこれらの値を平均する。例えばサンプリングには周期当たり16点を持たせることができる。

処理装置 (5) にはまたDSP (40) により計算した調波成分を受け入れる、コンピュータ (43) を設ける。

好ましくは、図5で示すように処理装置 (5) には信号発生器 (41) に従属装置として作動する、サンプリングジェネレータ (45) を取り付ける。このサンプリングジェネレータ (45) はDSP (40) に対しサンプリング時点を提供する。この時点からDSP (40) で行う信号処理操作は、できれば特殊迅速フーリエ変換即ちSFFTで実施され、その原理は第一操作実施法—SFFT1で以下に説明する。インターバル $[0, 2\pi/\omega]$ は等分布独立点 T_k に分割され、ここでサンプリングジェネレータ (45) により各周期毎にサンプリング時点 t_k が、

$$\delta(t_k) = \omega T_k$$

(k は0から $2N-1$ に変動) により求まる。PSD (4) により供給される電気信号は時間 (t) の関数 (f) として表されるため、DSP (40) で下式により j 番目の関数の調波成分 B_i が判定される。

$$b_j = \frac{1}{2N} \sum_{k=0}^{2N-1} f(t_k) \exp(-ij\omega T_k)$$

ただし $i^2 = -1$ とする。

FFTは通常、 k の値に関係無く $t_k = T_k$ に対応している。

SFTの利点は、完全ランプを生ずる筈の理想的相シフトに対して、相モジュレータ (21および22) により現に加わる相シフト δ の不一致を、デジタル修

正し得る点にある。例えばこの種の不一致は増幅器(42)内の立ち上がり時間によることがあり、変調マトリックス(W)の理論形状にあつては、50kHzで10%程度の誤差に及ぶものであるが、測定Mの精度には影響しない。この不一致は周波数とともに増大するため、ここでSFFTによれば最高周波数のもとでも、一定した性能が得られる。

ここで図6に見られるように、時間 t を関数とする(軸51)位相シフト δ (軸52)を与えるグラフ(54)で、各変調周期 T にあつての直線部分(55)は希望のランプに相当し、寄生部分(56)は立ち上がり時間によるものとしてすることができる。サンプリングジェネレータ(45)は線状部分(55)に伴い、獲得周期 D_a に亘ってサンプリング時点 t_0, t_1, \dots, T_{15} 等が均等に分布するように作動する。これに対し非獲得期間 D_n にあつては、寄生部分(56)に対応して獲得は一切起こらない。従つて時間を関数とする(軸51)相シフト δ (軸53)の正弦変動はカーブ(57)で表され、それぞれの周期 T にあつては D_a 期間には正常部分(58)が D_n 期間には寄生部分が該当し得ることになる。正常部分(58)は相シフト $\pm \omega t$ に付いて得られる部分に当たる。カーブ(54)の得られる変調形態は、通常光電タイプの相モジュレータで初めて得られる。

この信号処理操作は特に効果的かつ正確である。ただしその変形にあつては、サンプリングジェネレータ(45)は処理装置(5)から外されており、DSP(40)には相施錠ループつまりPLLが取付けられる。この場合、PLLにより各周期で均等に分布したサンプリング時点 T_k が得られ、DSP(40)で正規の迅速フーリエ変換がなされる。

SFFT2で示されるSFFTの第二の実施方法では、処理装置(5)からはサンプリングジェネレータ(45)が外されており、DSP(40)には各周期のもとで均分された $2N$ サンプリング時点 T_k の得られるPLLが取付けられる。ただし前例に示す正規の迅速フーリエ変換の行われるDSP(40)の代りに、次の操作が行われる。先ずコンピュータ(43)がメモリ中に、変調関数として知られる予設定関数 $g_j(t)$ m 組を記憶させる。この g_j 関数は二元ベースの

m個の計算調波座標 $H_{\lambda}(t)$ を、調波ベクトル $H(t)$ 内にまとめて類別形成する。相モジュレータ(21および22)が光電タイプの場合、 $H(t)$ は $m=4$ として下式で与えられる。

$$H(t) = \begin{pmatrix} \cos \omega t \\ \sin \omega t \\ \cos(2\omega t) \\ \sin(2\omega t) \end{pmatrix}$$

また相モジュレータ(21および22)が光弾性タイプの場合、 A_0 を定数として $H(t)$ は下式で与えられる。

$$H(t) = \begin{pmatrix} \cos(A_0 \sin \omega t) \\ \sin(A_0 \sin \omega t) \\ \cos(2A_0 \sin \omega t) \\ \sin(2A_0 \sin \omega t) \end{pmatrix}$$

サンプリング T_k の場合には次式が得られる。

$$\frac{1}{2N} \sum_{k=0}^{2N-1} H_{\ell}(T_k) g_i(T_k) = \begin{cases} 1 & \text{if } i=j \\ 0 & \text{if } i \neq j \end{cases}$$

DSP(40)で(PSD(4)により供給される電気信号を表す)関数 f の j 番目の調波成分 b_j は次式で表される。

$$b_j = \frac{1}{2N} \sum_{k=0}^{2N-1} f(T_k) g_j(T_k)$$

PSG(3A)には相変調時間的の安定化装置を設ける。この装置(図5)にはセパレータ(27)を取付け、光電子増倍管(46)を使ってDSP(40)

にコントロールビーム(15)を供給する。位相変調時間的安定化装置には同じく、デジタルアナログ転換器(44)を取付け、これによりコンピュータ(43)から制御信号を受入れ、増幅器(42)にそれぞれ相モジュレータ(21および22)用として、制御電圧(低電圧) U_1 および U_2 を供給する。

操作時にはDSP(40)で、固定調波系列内で変調入射ビーム(11)を代

表する、制御ビーム(15)に付帯する調波成分を計算する。このDSPはこの種の調波座標をコンピュータ(43)に供給し、コンピュータでは設定値から付加すべき電圧 U_1 と U_2 とを求め、特に温度変動による寄生的相シフトをなくすようにしている。コンピュータ(43)ではこの電圧(U_1 と U_2)をDAC(44)を使って、増幅器(42)に供給する。そのそれぞれの制御電圧(U_1 および U_2)は増幅器(42)による増幅前に、機能ジェネレータ(41)により供給電圧 U に付加される。

図7で示す、発明による偏光解析計の第二実施方法においては、PSG(3B)は単相モジュレータのみを保有している。この第二実施方法においては第一実施方法で示したのと同部材には、同じ参照番号を当てている。PSG(3B)には入射ビーム(10)を線形に偏光する偏光子(20)、および単相モジュレータ(21)を備えた連結モジュレータ(6B)および反射により操作される部分偏光子と相シフタータイプの連結装置(61)とを設ける。相モジュレータ(21)は偏光子(20)と連結装置(61)間に挿入し、偏光入射ビーム(10)の第一変調が行われ、これを連結装置(61)に伝送し、連結装置は入射ビーム(10)を相モジュレータ(21)に返送し、このモジュレータで第二の変調を行わせるようにする。連結モジュレータ(6B)にはさらに、偏光子(20)と相モジュレータ(21)との間にミラー(62)を取付け、この鏡でサンプル(1)方向に変調入射ビーム(11)を二度反射させる。

第一実施方法に準じてx軸とy軸は構成されることから、好ましい形態によれば、偏光子(20)はy軸上に配向し、モジュレータ(21)はx-y面内に配向してx軸とは α_3 角度をなし、 α_3 を 45° とする方向を保つ。部材としての連結装置(61)はx軸上に配向し、その入射軌道に平行に入射ビーム(10)の返送を可能としている。ミラー(62)では好都合に変調入射ビーム(11)をy軸に沿って戻るようにしている。

第一の変形実施例では、相モジュレータ(21)は、光電モジュレータ(ポケルス(Pockels)セル)の一種とする。このモジュレータ(21)では外部相シフトコントロールが可能で、通過帯域は100MHz以上を示す。この通過帯域

は信号発生器（41）および増幅器（42）のみに影響される。

第二の変形実施例では、相モジュレータ（21）は光弾性モジュレータの一種とする。この結果広範な波長領域と大きな光学窓が得られる。相シフト形態は固定型であり、 $\sin \omega t$ に比例する（図8）。この第二の変形実施例では、我々は前記のSFFTを用い、またそれぞれ44と45で示した第一実施方法のものに似た、サンプリングジェネレータおよびDSP、およびSFFT1（図5）を用いて希望の調波を計算している。従ってPSG（3B）のモジュレーションマトリックス（W）はランク4であり、他方正規のFFTではこのマトリックスを異常化させるはずである。相モジュレータ（21）はSFFT1を採用し得るように、 π より大か等しい変調振幅を持たせる。

一例として、相モジュレータ（21）は図8で表すように

$$\delta(t) = \pi \sin \omega t$$

形態の時間的相シフト δ を採用している。 $2\pi/\omega$ に等しい周期Tあたり8点サンプリングを採用することにより、我々はT周期に亘って均分された8点、 $T_0 - T_7$ を得ている（以下の周期 $T_0' - T_7'$ についても同様）。8つのサンプリング時点 t_0' から t_7' （および以下の周期 t_0' 、 t_1' 等について）をSFFT1の式についても得ており、これを獲得周期 D_a に亘って配分した。周期T中の補足周期は二つの非補足周期 D_{n1} と D_{n2} とから成っている。ここでサンプリング時点（ t_k ）像は、時間（t）、カーブ66、形状 ωt の関数として、相シフト（ δ ）を与えるカーブ（65）から得られる。カーブ65上の時点（ t_k ）像はカーブ66上の点 T_k 像に対応している。

この第二実施方法における調波系列の選択は好都合にも、第一実施方法中のものと同じである。

SFFT2では別の好ましい実施態様を与える。

図9で71表示による反射についての連結装置の別実施態様の内、PPSには

それぞれ一方で部分偏光機構を、他方では相シフトと反射機構を呈する二つの独立エレメント（72および73）が収納されている。

部分偏光エレメント72は、好都合に、もN1インデックスの連続ガラス板構

成の空気－材料板の積層から成っている。このものはできればブルースター角度の配向とする。これにより相シフトを伴わない、部分偏光と全体の強度部分との最適折衷物が得られる。使用する材料タイプおよび使用板数を、採用するスペクトル範囲に合わせて選択する。

相シフトと反射エレメントとはプリズムである。このエレメント（73）への入射ビームは、部分偏光を受けずまたその強度を損なうことなく、プリズムのインデックスN2に影響される相シフトのもとに反射される。好ましくはエレメント73は、入射ビームが平行反射される平坦プリズムとする。

N1およびN2屈折率の最適値は下式で表され、この内 n_i はブルースター入射として、エレメント（72）の空気－ガラスブレード間の通過数（両方向で数える）を表す。

$$N1 = (\operatorname{tg} 65,90^\circ)^{1/(2n_i)} + \sqrt{\operatorname{tg}(65,90^\circ)^{1/n_i} - 1}$$

$$N2 = 1.703$$

この結果我々は変調マトリックス（W）の最適状態調節値を得ている。

一例として、エレメント73は、C4834の商名で販売されているタイプのガラスプリズムの一つであり、その屈折率は404nmで1.68、706nmで1.64である。

エレメント72を対象とした場合、その通過数（n）は波長の適用範囲に準じて選ばれ、N1インデックスを与える。

第一例として赤外線を使った場合、エレメント72は単一ガラスブレードとし、一回のみの通過または往きまたは戻り（ $n_i = 1$ ）とする。その最適N1値はこの場合2.6であり、この値は例えばZnSにより近づき得る。

第二例として、エレメント72は一枚のガラスブレードとし、往き戻り通過（ $n_i = 2$ ）での、 $N1 = 1.927$ である。

第三例として、可視スペクトル利用の場合、エレメント72は二枚ガラスブレード採用とし（ $n_i = 4$ ） $N1 = 1.578$ である。この場合のプレートは例えばBK7の品名で販売される材料構成とする。

第四例として、紫外線および可視線利用の場合、エレメント 72 は三枚ガラスプレート ($n_i = 6$) とし $N = 1.448$ である。この場合例えばプレートは注型シリカ製とする。

現在まで提案された実施法の内、PSD (4) は変調を行わない固定エレメント利用の偏光状態セパレータ (図 4) に基づくものである。変形としては少なくとも 12 組の光学検出器上に測定ビーム (12) の連続反射利用構成のものである。この PSD の説明はアー・エム・アザム (R. M. Azzam)、光学レター、10 巻、309-311 ページ、1985 年発行の“偏光状態測定用の四組の光学検出器の配設状況 (Arrangement of four photo-detectors for measuring the state of polarization of light)”で見出すことができる。

別実施方法においては、PSD (4) に PSG (3) の周波数とは異なる周波数で偏光モジュレータを取付けしている。この場合偏光解析計では単チャンネル技術を用い、採用の調波系列には少なくとも 16 の成分を採用している。この場合はまた PSD 用として単チャンネル技術を用いることができ、または可動エレメント付きの多重チャンネル技術を使用しても良い。

単チャンネル ($n = 1$) の場合、前記の PSG (3A, 3B) の一つを、入力アーム中に随時 PSG を付帯させて、出力アーム中 PSD として用いることができる。この場合は偏光子 (20) を入射ビーム (10) に替えて、放出ビーム (11) 内に据える場合を除き、PSD は図 2 から 7 に対応して採用されている。光学エレメントの配向は PSD も PSG も好都合なことに変わっていない。PSD の変調周波数は PSG 周波数 ($\omega / 2\pi$) の 5 倍または $1/5$ である。処理装置はフーリエ変換により 16 組の独立値 ($m = 16$) を提供する。

なお一般的には PSG (3A, 3B) のどの一つでも偏光状態検出器として、どの光学装置についても独立して用いることができる (ストークススペクトルの測定)。

ここで偏光解析計の較正について調べてみよう。較正レベルには二種ある。

第一レベルは光学エレメントの配向、変調振幅の測定、およびコントロール操作に関する。好ましい操作は次の通りである。PSG (3) の偏光子 (20) の

配向を利用して絶対基準角度を定める。このためには、入射面内で線形偏光された光線が直交ニコルをなさずに反射するよう配慮する。このため我々は入射ビーム内に偏光子を使用し、反射ビーム中でその一つを最初のものから $\pi/2$ 回転させ、そのビームが完全に消失するまで全体を回転させる。ここで他の光学エレメントを偏光子(20)に対して整合させる。

相モジュレータ(21および22)を配向させるには、入力偏光子(20)およびモジュレータの固定軸の整合状態に応じて変調操作を中断する。

我々は単一モジュレータを使ったオーダ1の調波に対し、高調波を最低にするランプ($\delta(t) = \omega t$)用の正確な勾配を示す、正しい変調振幅を得ている。コントロールに必要な要因は実験的に求まる。

さらに重要である第二の較正レベルは、変調マトリックス(W)と検出マトリックス(A)の測定である。我々はできれば以下の自動較正方法を採用し、公知のミューラマトリックスを有する一連の較正要素の選択から始める。このミューラマトリックスの一つは、(透過で得られない)構成単位マトリックス I_0 である。ここでサンプル1としてそれぞれの別較正単位を採用し、偏光解析測定を行う。従って各ミューラマトリックス(M)については、この測定からAMWマトリックスが得られる。また我々は $A I_0 W$ マトリックスの測定を行っている。ここでリニア方程式を建て、変調マトリックス(M)および検出マトリックス(A)が抽出できるようその解法を行っている。

好ましくは、WおよびAマトリックスを多元測定するよう十分な数の構成単位を選ぶ。一例としてPSD(4)は、どの時間的変調も採用しない偏光状態セパレータ構成であるため、我々は引き続き四組の構成単位を用いる。この四構成単位の一つは真空であり、測定はサンプル抜きの透過について行う。他の三つの構成単位には、透過 0° のリニア偏光子、 45° のリニア偏光子、反射または透過で異常値抜きの部分偏光子および相シフターを含む。後の要素は $1/4$ 波長のブレードとすることができる。できれば我々はここで標準偏光解析計を採用し、正確にミューラマトリックスを測定する。

WおよびAマトリックスは最小二乗法を使って多元測定のリニア装置から解

を求める。

この自動較正方法は、ミューラー論理系統の自動首尾一貫性に基づくことから、これにより極めて正確な結果が得られ、また操作も簡単で迅速に行える。

本発明によるミューラー偏光解析計は、単色および分光色度の両測定いずれにも適合している。

【図1】

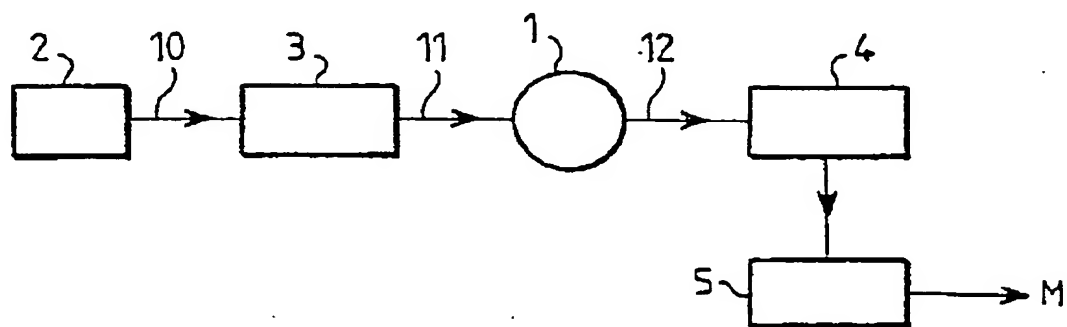


FIG.1

【図2】

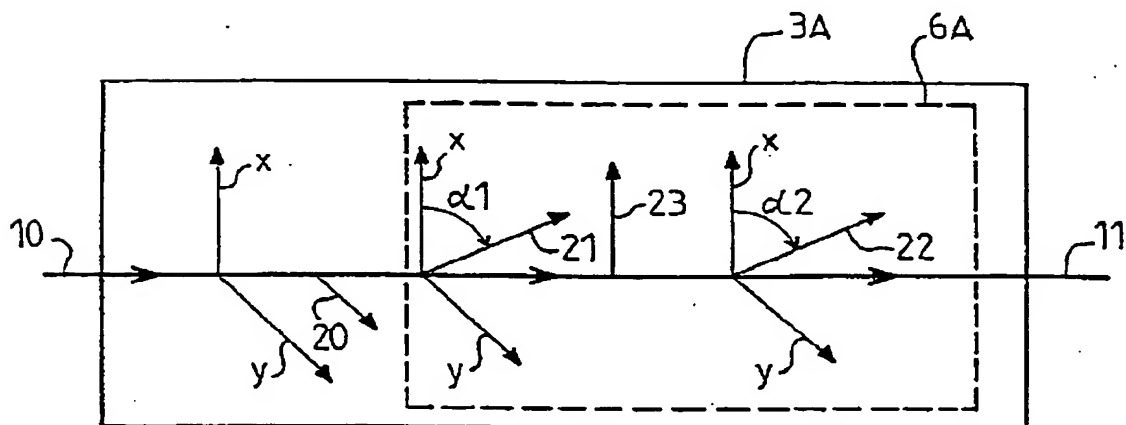


FIG.2

【図3】

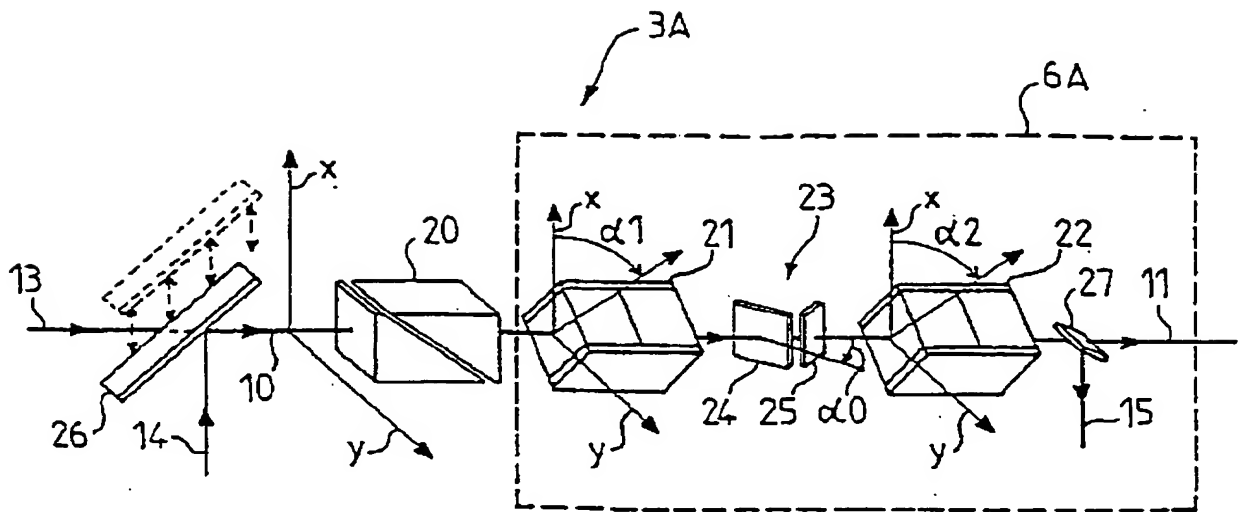


FIG. 3

【図4】

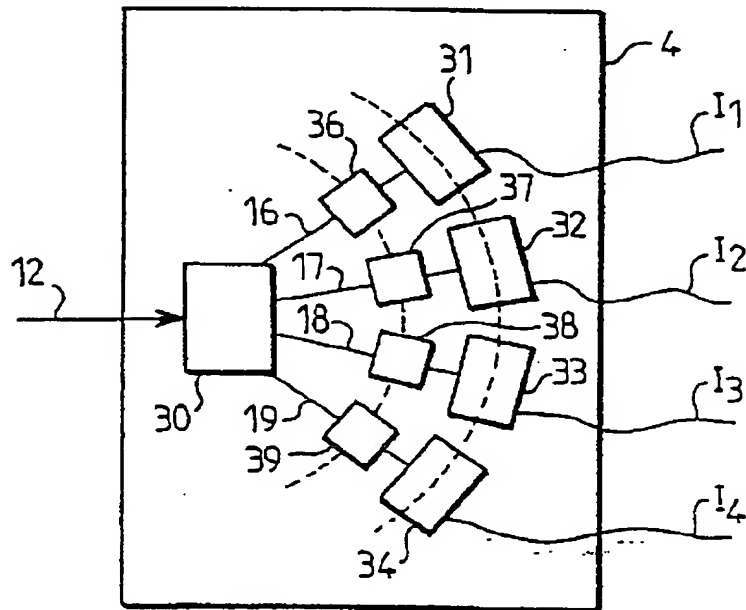


FIG. 4

【図5】

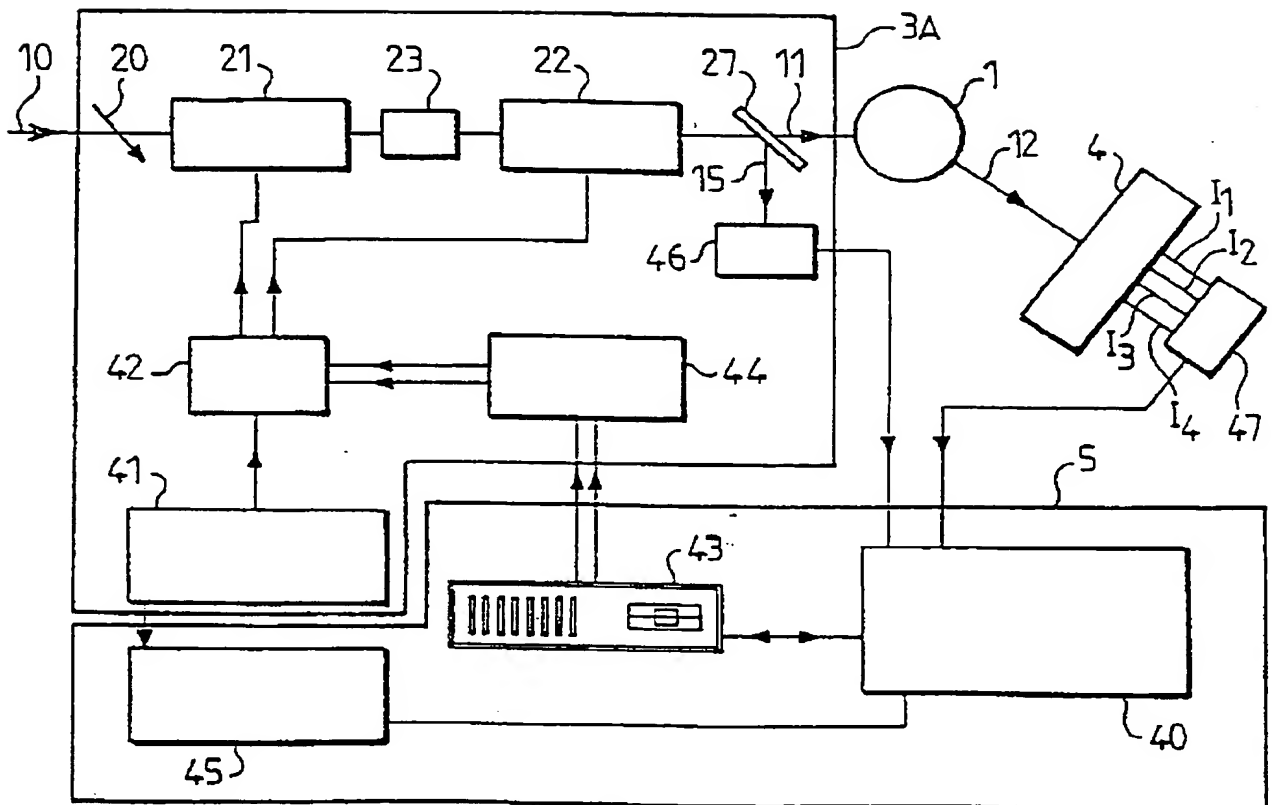


FIG.5

【図 6】

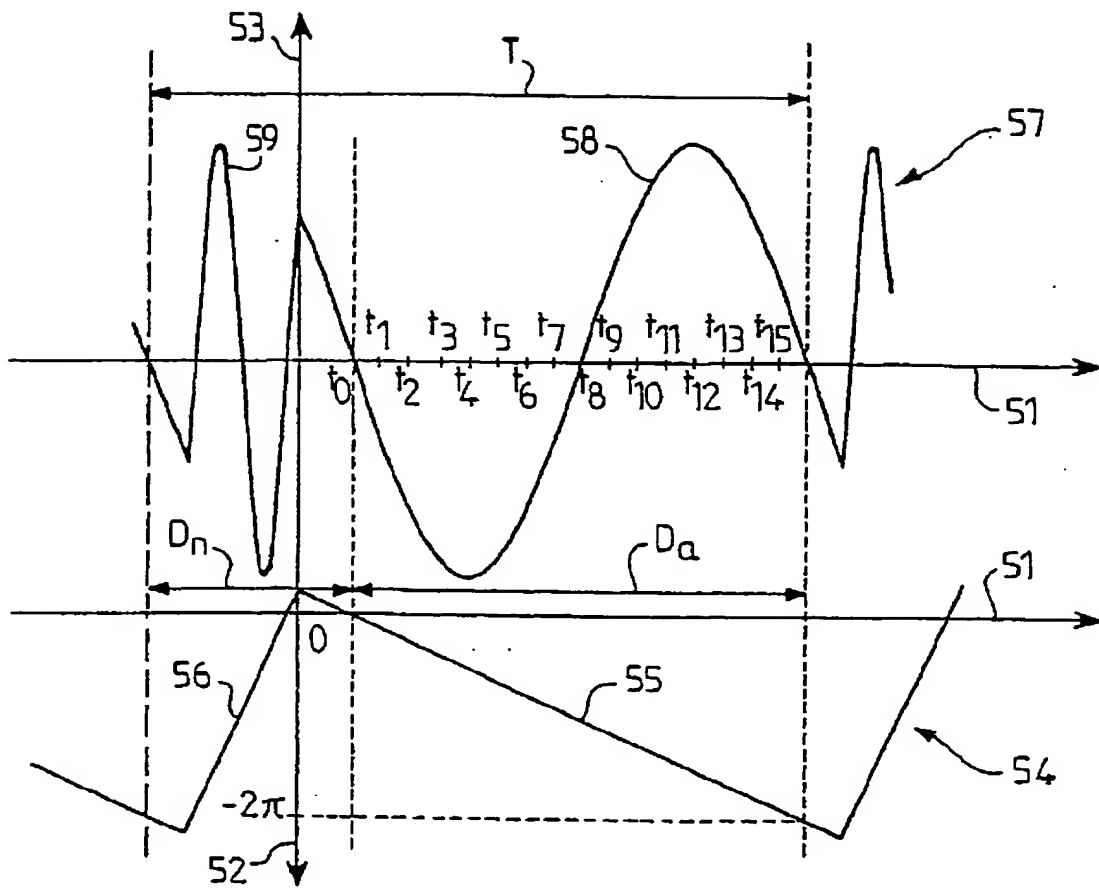
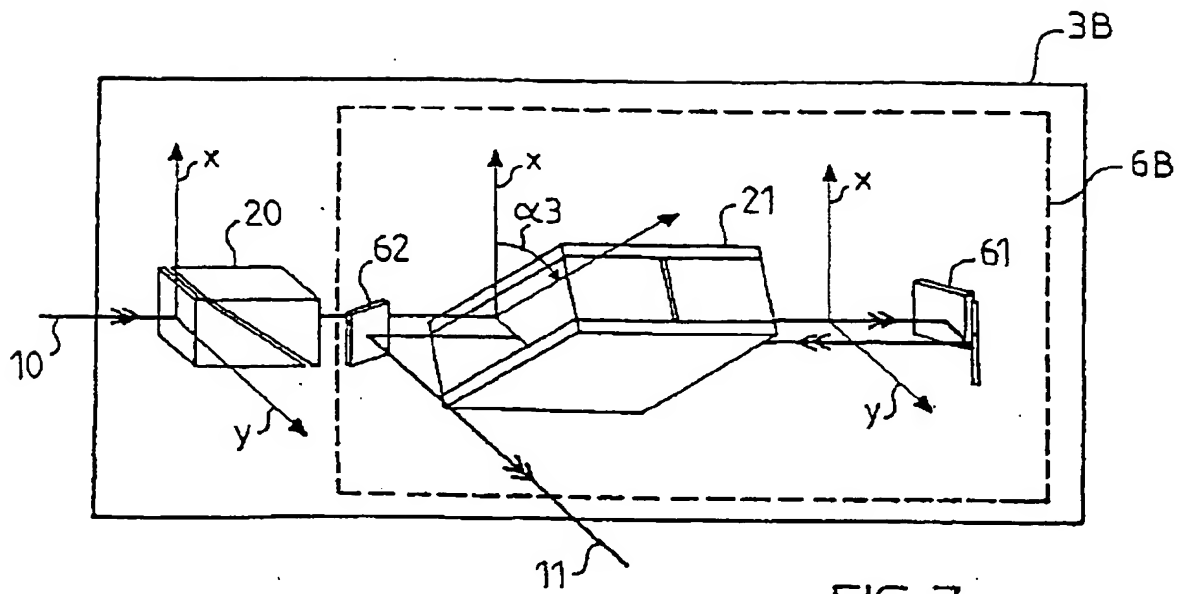


FIG.6

【図 7】



【図 8】

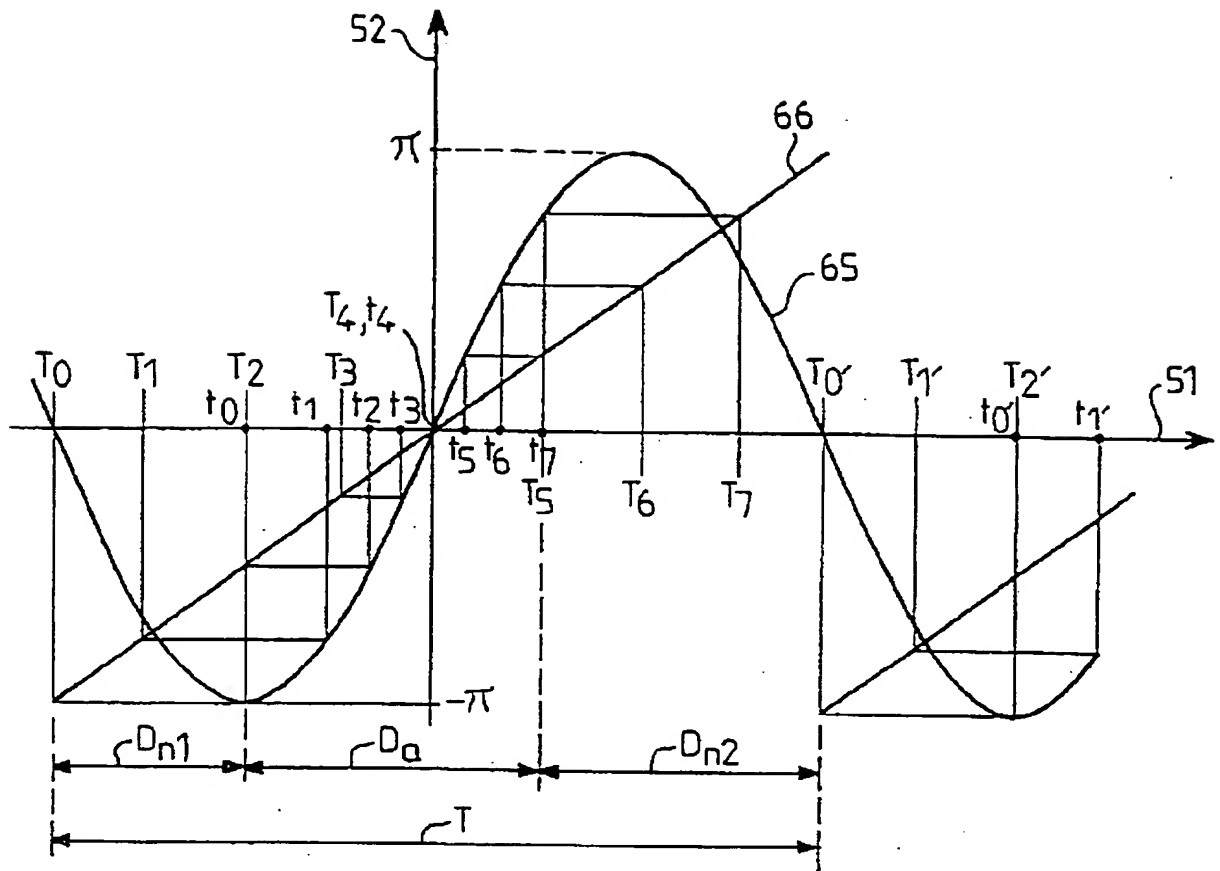


FIG.8

【図 9】

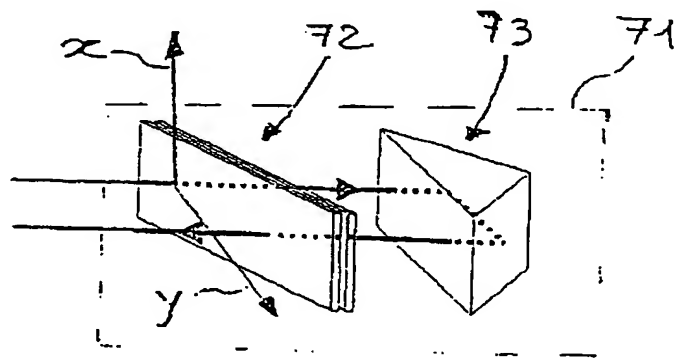


FIG.9

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 6 G01J4/00		International Application No. PCT/FR 97/01849
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 6 G01J		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	LEST Technical Report No. 54, Institute of Theoretical Astrophysics, University of Oslo, 1992 XP000645515 J.O. STENFLO et al: "Demodulation of all four Stokes parameters with a single CCD: ZIMPOL II - Conceptual design" see page 13, line 5 - line 10 see figure 2 --- -/--	1,4
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.		
<input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
Special categories of cited documents :		
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubt on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
"T" older document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 30 January 1998		Date of mailing of the international search report 05/02/1998
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 apo nl, Fax (+31-70) 340-3016		Authorized officer Thomas, R.M.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.
PCT/FR 97/01849

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>H. POVEL: "Imaging Stokes polarimetry with piezoelectric modulators and charge-coupled device image sensors" OPTICAL ENGINEERING, vol. 34, no. 7, July 1995, BELLINGHAM US, pages 1870-1878, XP000517055 see page 1876, right-hand column, line 15 - page 1877, left-hand column, line 4 see page 1877, right-hand column, line 13 - line 19</p>	1,4,9, 16,19
A	<p>P.S. HAUGE: "Recent developments in instrumentation in ellipsometry" SURFACE SCIENCE, vol. 96, 1980, pages 108-140, XP000195533 cited in the application see page 111, line 14 - line 20 see page 120, last line - page 121, last line see page 123, line 1 - page 130, line 10 * page 133, line 20 - page 134, line 15 *</p>	9,16,19
A	<p>R.M.A. AZZAM ET AL: "Construction, calibration and testing of a four-detector photopolarimeter" REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, vol. 59, no. 1, January 1988, NEW YORK US, pages 84-88, XP002034814 see page 85, left-hand column, line 4 - page 86, left-hand column, line 32</p>	17,18
A	<p>R.C. THOMPSON ET AL: "Measurement of polarized light interactions via the Mueller matrix" APPLIED OPTICS, vol. 19, no. 8, 15 April 1980, NEW YORK US, pages 1323-1332, XP002034815 cited in the application</p>	
A	<p>US 4 306 809 A (AZZAM) 22 December 1981</p>	

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

information on patent family members

Inter. Appl. No.

PCT/FR 97/01849

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4306809 A	22-12-81	NONE	

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) July 1992